

平成29年度  
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業  
戦略的基盤技術高度化支援事業

「新幹線等、鉄道車両の製造及び保守作業における、  
作業カイゼン、トレーサビリティ管理システムの開発」

研究開発成果等報告書

平成30年5月

担当局 近畿経済産業局  
補助事業者 京都機械工具株式会社

## 目次

第1章	研究開発の概要	4
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	4
(1)	従来技術での課題	4
(2)	新技術を実現するために解決すべき課題	4
(3)	研究開発の背景および当該分野における研究開発動向	6
(4)	研究開発課題・目標と達成成果	6
1-2	研究体制	9
(1)	履行体制図	9
(2)	管理員、研究員及び補助員	9
1-3	成果概要	10
(1)	平成27年度	10
(2)	平成28年度	10
(3)	平成29年度	10
1-4	当該研究開発の連絡窓口	10
第2章	本論	11
2-1	全体計画と環境整備	11
2-2	スマート工具・測定機器の研究開発	14
(1)	平成27年度	14
(2)	平成28年度	16
(3)	平成29年度	18
2-3	ウェアラブル作業支援デバイスの研究開発	20
(1)	平成27年度	20
(2)	平成28年度	20
2-4	工具・作業管理ステーションの研究開発	21
2-5	通信システム装置の研究開発	21
2-6	工具通信・作業支援ソフトウェアの研究開発	22
(1)	平成27年度	22
(2)	平成28年度	23
第3章	全体総括	24
3-1	研究開発成果	24

3 - 2	研究開発後の課題・事業化展開 .....	25
(1)	事業展開及び市場概況 .....	25
(2)	事業化に至るまでのスケジュール .....	26

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

#### (1) 従来技術での課題

我が国のものづくりは、機械化・自動化が進み、自動車や家電製品など、いわゆる量産品は、その大半の工程を、ロボット等の自動化装置によって、人間の関与の少ない状態で生産されている。しかしながら、航空機・鉄道車両など、一品ものや大型ものについては、生産工程での組立、艤装、また稼働後の点検保守作業の大部分を、人間の手作業、判断にゆだねている状況である。また、量産品であっても、工作機械への治具および部材の締結や市場投入後の保守・修理に関しては、人的作業による部分が非常に多い。この様に、ものづくりの現場においては、根幹となる重要な部分は技能工の技に支えられており、その技術伝承について、国を挙げた取り組みが進んでいるところである。

この技能工の技については、課題として以下のことが挙げられる。

- |                                 |
|---------------------------------|
| ① 作業の成否、良否が、人の判断に基づき実施されている     |
| ② 文書・図面等だけでは、指示および作業要領を明確に伝えにくい |
| ③ 治工具等の管理が、作業者任せである             |
| ④ IT化が遅れている                     |

このため、現場においては、作業対象を取り違える、規定値を誤る、治工具等を紛失する、などの問題が多発していることが現状である。

特に、組立、艤装工程の大半を占める、ねじやボルトによる締結作業での締め付けトルク値の異常は、下記のような安全品質にかかわる重大な問題の三大原因となっている。

#### トルク値異常の三大原因

- 締め忘れ
- 締めつけ不足・ゆるみ
- 締めすぎ



製品	事故、異常内容
鉄道車両	納入検査時不良による全数再検査
大型車	車輪脱落による人身事故
ダイキャストマシン	設備内の火災
マシニングセンター	テーブル作動不良
電池	端子部発熱による火災
搬送機	ライン設備停止

締め忘れ、締めつけ不足によるゆるみ、締めすぎの防止に対しては、「規定締結トルクの作業指示を工夫する」、「締結トルクをチェックシートに記録する」、「接合部に線状のマーカー(合いマーク)を施す」など「ポカよけ」対策がとられているが、いずれの方法をもってしても十分なレベルの対策とは言い難く、抜本的な対策の導入が望まれている。

一方で、現在、新幹線システムをはじめとした我が国の交通インフラ技術の輸出が盛んに提唱されている。メイド・イン・ジャパン技術の優秀さは海外でも評価が高いが、ものづくりの歴史や過去の実績を前面に出す欧米諸国や低価格化を打ち出す中国などとの競争の中で、優位性をより際立たせる必要が生じている。

そのため、本提案の川下製造業者である鉄道システムメーカーでは、より競争力を持った包括的な鉄道システム提案を検討しており、その鉄道システム提案に含むための国内外での鉄道車両の生産および運行保守における、作業の信頼性・効率性と生産性の向上を図る手法の開発が大きく望まれている。

#### (2) 新技術を実現するために解決すべき課題

本研究開発の特徴は、製造及び保守作業の適正判断を向上させることを目的とし、工具・測定機器及び作業支援デバイスを、構成要素(モジュール)として統合させ、全体システムを構築することにある。この

ことによって、工具・測定機器及び作業支援デバイスは、各々の汎用性、互換接続性を保ちながらも、ソフトウェアによって実施する作業に特化した専用工具に変化させることが可能となる。

更に、この仕組みを進化、完成させるためには、工具・測定機器の状況をリアルタイムに取得し、その情報に基づいて次の状況を予測し、作業支援デバイスによって適切な指示を作業者に伝達することが必要である。工具だけでは取得できない情報、例えば、作業者の移動距離、姿勢、位置などの情報を作業支援デバイスによって補完することにより、作業環境、状況への対応、推測する機能を併せ持つことが求められる。

このように、本研究開発の主要な技術的課題は、以下のとおりである。

- ① 工具・作業者の状況に関する情報をリアルタイムに取得する。
- ② 作業内容の不正確性(作業手順とのかい離)、不適切性(設定値とのかい離)を検知し、作業者に知らせ、正しい指示を伝達する。
- ③ 作業内容および付帯する情報を、工具と作業支援デバイスの双方から収集する。
- ④ 安全性、作業性を損なわない工具および作業支援デバイスのデザインと機能設計。
- ⑤ 収集した情報を、作業実績として分析・フィードバックを可能な情報とする。

現在の課題	本提案の特徴
ヒューマンエラーが発生する可能性 作業場所の特定が困難 作業内容の明確な指示が困難 多数の工具を準備する必要性	工具と表示端末等のネットワーク化 作業実績を情報として収集・蓄積 ヒューマンエラーの防止 確認作業の削減による効率化・コスト削減



また、実際の製造及び保守現場での業務要件、安全性、作業性確保から生じる制約条件の定義、その実現手段を、工具と作業支援デバイスのどちらに持たせるかの判断、機能分類を明確に行うことが第一の課題である。

(3) 研究開発の背景および当該分野における研究開発動向

(主たる技術)	(従たる技術)
(二) 情報処理に係る技術に関する事項 1 情報処理に係る技術において達成すべき高度化目標 (3) 川下分野横断的な共通の事項 ①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ ウ. ものづくりにおける研究・開発・製造等の生産性向上を支援する技術の高度化 エ. 製品・システムの安全性の確保・信頼性の向上	(五) 接合・実装に係る技術に関する事項 (3) 川下分野横断的な共通の事項 ①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ エ. 製品の信頼性 カ. 生産性の向上 (十二) 測定計測に係る技術に関する事項 (3) 川下分野横断的な共通の事項 ①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ ア. 高機能化 イ. 測定機器のネットワーク化 エ. 安全性の確保

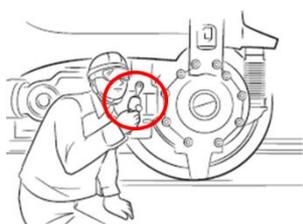
本提案の川下製造業者である鉄道システムメーカーにおける新幹線および鉄道車両の組立、艤装作業は、一般的に各種工具を用いて人的作業によって実施されるが、ボルトやねじの締結には、その部材の種別はもちろん、厳密な締め付けトルクの数値管理が求められる。

当該分野における研究開発動向としては、締結作業の能率化を目指し、工具に締結作業の状態を計測する測定工具と呼ばれるものが開発されている。当社においても、工具にセンサーを組み込むことにより、計測機能を付与したデジタル測定工具を、作業データ管理ソフトウェアと共に開発、販売している。

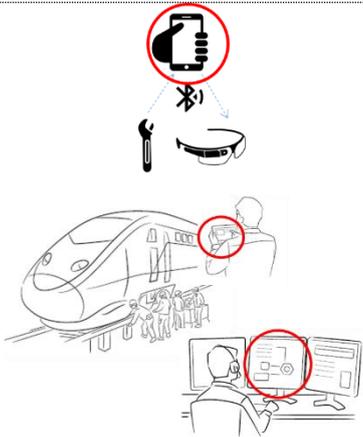
また、現在の先進事例として、本提案の川下製造業者のひとつである株式会社日立製作所の新幹線製造工程では、このデジタル測定工具に無線機を付与し、作業データ管理ソフトウェアを含むシステム開発を行い、カイゼン成果を得られる段階まで開発を進めてきた。

しかし、デジタル測定工具の使用だけでは、1) 作業場所、締結部位が特定できない、2) 組み込んだセンサーの測定値の推移しか記録できない、3) 作業方法、手順が正しかったかどうか検証できない、などの多くの課題があり、川下製造業者からの更なる高度なニーズに対し、上記のような工具単体に機能付与していきやり方では課題解決が難しかった。

(4) 研究開発課題・目標と達成成果

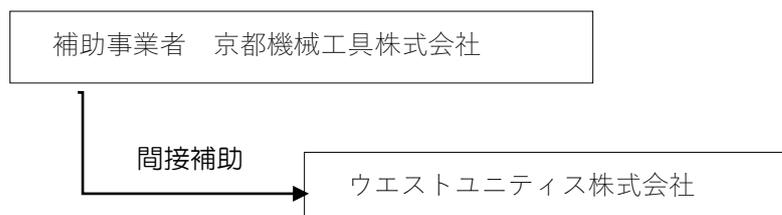
No.	テーマ 目標となる値・状態・時期	達成時期
1	システム全体設計と構成する機能要素の抽出と整理	
	・機能構成設計・達成目標設定の完了(※鉄道車両製造を事例として) ・機能詳細設計の完了(工具・測定機器、通信、データ管理など個別機能と精度、性能目標設計)	2015.11
2	スマート工具・測定機器の開発	
	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・工具・測定機器としての基本機能の加え、ボルトやねじの締結トルクや各種測定機器の測定結果を電子的に測定、表示、記録することができる。</li> <li>・さらに、③工具・作業管理ステーション、⑤PC、スマートフォン上で稼働する作業支援ソフトウェアとの間での通信機能を備え、作業内容、測定情報の入出力、規定値の設定、使用状態の送受信を行う。</li> </ul>	
	・求められる機能を実装、試作され、実地検証ができる状態	2017.3
	・将来の作業性、安全性の向上を狙う機構研究に着手	2016.12
	・製品化計画の完了	2017.9

	<p>・主な数値目標</p> <table border="1"> <tr> <td>新機能付加機械式トルクレンチ</td> <td>設定精度 : ±5%</td> <td>送信エラー : 1/1000 回</td> </tr> <tr> <td>新型デジタルトルクアダプタ</td> <td>計測精度 : ±4%</td> <td>送信エラー : 1/1000 回</td> </tr> <tr> <td>新型デジタルトルクレンチ</td> <td>計測精度 : ±4%</td> <td>送信エラー : 1/1000 回</td> </tr> <tr> <td>RFID 読取機能対応工具(UHF)</td> <td>検出範囲 : 0~5cm, 検出誤差 : 1/1000 回, 同時読取 : 3 個</td> <td></td> </tr> <tr> <td>締結完了証跡(合いマークなど)</td> <td>印字回数 : 3000 回, 印字エラー : 1/3000 回, 所要時間 : 1.5 秒</td> <td></td> </tr> </table>		新機能付加機械式トルクレンチ	設定精度 : ±5%	送信エラー : 1/1000 回	新型デジタルトルクアダプタ	計測精度 : ±4%	送信エラー : 1/1000 回	新型デジタルトルクレンチ	計測精度 : ±4%	送信エラー : 1/1000 回	RFID 読取機能対応工具(UHF)	検出範囲 : 0~5cm, 検出誤差 : 1/1000 回, 同時読取 : 3 個		締結完了証跡(合いマークなど)	印字回数 : 3000 回, 印字エラー : 1/3000 回, 所要時間 : 1.5 秒	
新機能付加機械式トルクレンチ	設定精度 : ±5%	送信エラー : 1/1000 回															
新型デジタルトルクアダプタ	計測精度 : ±4%	送信エラー : 1/1000 回															
新型デジタルトルクレンチ	計測精度 : ±4%	送信エラー : 1/1000 回															
RFID 読取機能対応工具(UHF)	検出範囲 : 0~5cm, 検出誤差 : 1/1000 回, 同時読取 : 3 個																
締結完了証跡(合いマークなど)	印字回数 : 3000 回, 印字エラー : 1/3000 回, 所要時間 : 1.5 秒																
3	<p>ウェアラブル作業支援デバイスの開発</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>・作業者のハンズフリー、ペーパーフリーをサポートする情報の入出力デバイスであり、身に着けて持ち歩け、作業の安全性、作業性を損なうことがない。また、腕時計のように手首に装着することや、ヘッドマウントディスプレイのように、防護メガネやヘルメットに装着することができる。</p> <p>・③工具・作業管理ステーション、⑤PC、スマートフォン上で稼働する作業支援ソフトウェアと通信し、動画や図面、画像、音声など、作業に必要な情報を表示するとともに、静止画、動画、音声、位置情報等の作業実績情報の記録機能を備える。</p> </div> </div> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>・求められる機能を実装、試作され、実地検証ができる</td> <td style="text-align: right;">2016.2</td> </tr> <tr> <td>・試作・作業検証完了</td> <td style="text-align: right;">2017.3</td> </tr> <tr> <td>・作業性、安全性を検証し、製品化条件の定義を完了</td> <td style="text-align: right;">2017.3</td> </tr> <tr> <td>・製品化計画の完了</td> <td style="text-align: right;">2017.9</td> </tr> </table> <p>・主な数値目標</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>タブレット (Windows、Android)</td> <td>誤操作 1/1000 回以下 ※使い捨てゴム手袋 (JIS T9107) を装着下で操作</td> </tr> <tr> <td>スマートグラス</td> <td>防護グラス型 (JIS T8147 準拠)</td> </tr> </table>		・求められる機能を実装、試作され、実地検証ができる	2016.2	・試作・作業検証完了	2017.3	・作業性、安全性を検証し、製品化条件の定義を完了	2017.3	・製品化計画の完了	2017.9	タブレット (Windows、Android)	誤操作 1/1000 回以下 ※使い捨てゴム手袋 (JIS T9107) を装着下で操作	スマートグラス	防護グラス型 (JIS T8147 準拠)			
・求められる機能を実装、試作され、実地検証ができる	2016.2																
・試作・作業検証完了	2017.3																
・作業性、安全性を検証し、製品化条件の定義を完了	2017.3																
・製品化計画の完了	2017.9																
タブレット (Windows、Android)	誤操作 1/1000 回以下 ※使い捨てゴム手袋 (JIS T9107) を装着下で操作																
スマートグラス	防護グラス型 (JIS T8147 準拠)																
4	<p>工具・作業管理ステーションの開発</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>・作業ワゴンの基本機能である、工具・測定機器および部材等の収納保管・移動機能に加え、作業員の持つタブレット PC などで稼働する⑤作業支援ソフトウェアとの間での情報通信機能を備え、作業台に備わるディスプレイに、必要な情報を作業者の指示で表示する。</p> <p>・③工具・作業管理ステーション装備の PC もしくはタブレット PC 上で、⑤作業支援ソフトウェアを稼働させることもあり得る。この構成では、作業員は、ワゴン上のディスプレイで、工具・計測機器の各種動作を確認する。(ウェアラブルデバイスが不要な構成)</p> </div> </div> <p>・以下の機能は、ユーザーオプションとして実装可能とする。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 作業員認証による施錠・開錠機能</li> <li>2. 工具・測定機器の持ち出し、返却記録機能</li> <li>3. 画像認識もしくは RFID 認識によるボルトやねじなど部材の適切判定機能</li> <li>4. 工具・測定機器の校正およびその履歴管理機能</li> </ol> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>・工具・部材自動認識において、実用に耐え得る精度を達成</td> <td style="text-align: right; color: red;">未達成</td> </tr> <tr> <td>・求められる機能を実装、試作され、実地検証ができる(初期レベルは達成)</td> <td style="text-align: right; color: red;">未達成</td> </tr> <tr> <td>・試作・作業検証完了</td> <td style="text-align: right; color: red;">未達成</td> </tr> </table>		・工具・部材自動認識において、実用に耐え得る精度を達成	未達成	・求められる機能を実装、試作され、実地検証ができる(初期レベルは達成)	未達成	・試作・作業検証完了	未達成									
・工具・部材自動認識において、実用に耐え得る精度を達成	未達成																
・求められる機能を実装、試作され、実地検証ができる(初期レベルは達成)	未達成																
・試作・作業検証完了	未達成																

	<p>・主な数値目標</p> <table border="1"> <tr> <td>工具校正管理</td> <td>校正・プリセット記録：工具 300 点 作業ワゴン入数確認：部材 30 種×30 点、工具 30 点</td> </tr> <tr> <td>工具出納管理</td> <td>姿勢センサー：マトリックスピッチ：30m, 検知荷重：50g スキャンカメラ：引出し速度：30cm/秒</td> </tr> <tr> <td>工具位置管理</td> <td>アンテナ検知エリア：10m×10m, 圏外アナウンス：3m</td> </tr> <tr> <td>工具・部材管理（自動認識）</td> <td>ステーション入数確認：部材 30 種×300 点、工具 300 点</td> </tr> </table>	工具校正管理	校正・プリセット記録：工具 300 点 作業ワゴン入数確認：部材 30 種×30 点、工具 30 点	工具出納管理	姿勢センサー：マトリックスピッチ：30m, 検知荷重：50g スキャンカメラ：引出し速度：30cm/秒	工具位置管理	アンテナ検知エリア：10m×10m, 圏外アナウンス：3m	工具・部材管理（自動認識）	ステーション入数確認：部材 30 種×300 点、工具 300 点						
工具校正管理	校正・プリセット記録：工具 300 点 作業ワゴン入数確認：部材 30 種×30 点、工具 30 点														
工具出納管理	姿勢センサー：マトリックスピッチ：30m, 検知荷重：50g スキャンカメラ：引出し速度：30cm/秒														
工具位置管理	アンテナ検知エリア：10m×10m, 圏外アナウンス：3m														
工具・部材管理（自動認識）	ステーション入数確認：部材 30 種×300 点、工具 300 点														
5	<p>通信システム装置の開発</p>  <p>・無線通信のアクセスポイント装置として、①工具・測定機器、②ウェアラブル作業支援デバイス、③工具・作業管理ステーション、⑤作業支援ソフトウェアの間での無線通信のハブの役割を担う。PC、スマートフォンの標準的な通信能力を補完し、また、同時多数の通信セッションを処理し、双方向にデータ中継を行う機能を備える。</p> <p>・工場内の天井や壁面への設置、あるいは、③工具・作業管理ステーションに配備されることを想定する。</p> <p>・システム開発・動作試験の生産性を高めるため、システム開発キット(SDK)およびエミュレータ装置により、実際の①工具・測定機器および作業現場を再現する機能を備える。</p> <table border="1"> <tr> <td>・試作完了</td> <td>2016.3</td> </tr> <tr> <td>・工具・ウェアラブル作業支援デバイスの実証環境の構築完了</td> <td></td> </tr> <tr> <td>・生産設備等、環境へ影響を及ぼさないレベルで通信が確立できている</td> <td>2016.12</td> </tr> <tr> <td>・生産設備等からのノイズの影響が検証され、安定した通信が確立できている</td> <td></td> </tr> <tr> <td>・製品化計画の完了</td> <td>2017.9</td> </tr> </table> <p>・主な数値目標</p> <table border="1"> <tr> <td>データ連携通信ゲートウェイ</td> <td>開発代替品購入済み(3 種)</td> </tr> <tr> <td>工具・測定機器接続エミュレータ</td> <td>上位用 5 台</td> </tr> </table>	・試作完了	2016.3	・工具・ウェアラブル作業支援デバイスの実証環境の構築完了		・生産設備等、環境へ影響を及ぼさないレベルで通信が確立できている	2016.12	・生産設備等からのノイズの影響が検証され、安定した通信が確立できている		・製品化計画の完了	2017.9	データ連携通信ゲートウェイ	開発代替品購入済み(3 種)	工具・測定機器接続エミュレータ	上位用 5 台
・試作完了	2016.3														
・工具・ウェアラブル作業支援デバイスの実証環境の構築完了															
・生産設備等、環境へ影響を及ぼさないレベルで通信が確立できている	2016.12														
・生産設備等からのノイズの影響が検証され、安定した通信が確立できている															
・製品化計画の完了	2017.9														
データ連携通信ゲートウェイ	開発代替品購入済み(3 種)														
工具・測定機器接続エミュレータ	上位用 5 台														
6	<p>工具通信・作業支援ソフトウェアの開発</p>  <p>・①工具・測定機器、②ウェアラブル作業支援デバイスを統合させ、作業支援を実現する基盤ソフトウェアである。PC、スマートフォン等で動作し、作業指示情報の伝達、作業実績情報の収集、必要な演算、判断を行い、作業者に必要な情報を知らせる機能を備える。</p> <p>・さらに、現場端末である PC もしくはスマートフォンは、企業内ネットワーク(LAN)やインターネット、4G 電話回線(WAN)などを經由してサーバーと接続され、遠隔地間との通信、リアルタイムの作業情報のやり取りを実現する。</p> <table border="1"> <tr> <td>・試作・作業検証完了および実証環境構築完了</td> <td>2016.3</td> </tr> <tr> <td>・リアルタイム音声画像通信など、主要な業務要件の実現手段を確定している</td> <td>2017.12</td> </tr> <tr> <td>・製品化計画の完了</td> <td>2017.12</td> </tr> </table> <p>・主な数値目標</p> <table border="1"> <tr> <td>通信応答速度</td> <td>命令レスポンス：3 秒以内</td> </tr> <tr> <td>同時管理機器数</td> <td>工具・測定機器：10 種×5 台(同時) 作業支援デバイス：3 種×3 台(同時)</td> </tr> <tr> <td>管理可能最大数</td> <td>作業種別：50 種 部材点数：500 点</td> </tr> <tr> <td>多言語対応</td> <td>日本語、英語</td> </tr> </table>	・試作・作業検証完了および実証環境構築完了	2016.3	・リアルタイム音声画像通信など、主要な業務要件の実現手段を確定している	2017.12	・製品化計画の完了	2017.12	通信応答速度	命令レスポンス：3 秒以内	同時管理機器数	工具・測定機器：10 種×5 台(同時) 作業支援デバイス：3 種×3 台(同時)	管理可能最大数	作業種別：50 種 部材点数：500 点	多言語対応	日本語、英語
・試作・作業検証完了および実証環境構築完了	2016.3														
・リアルタイム音声画像通信など、主要な業務要件の実現手段を確定している	2017.12														
・製品化計画の完了	2017.12														
通信応答速度	命令レスポンス：3 秒以内														
同時管理機器数	工具・測定機器：10 種×5 台(同時) 作業支援デバイス：3 種×3 台(同時)														
管理可能最大数	作業種別：50 種 部材点数：500 点														
多言語対応	日本語、英語														

## 1-2 研究体制

## (1) 履行体制図



## (2) 管理員、研究員及び補助員

## 【補助事業者】 京都機械工具株式会社

## 管理員

氏名	所属・役職
高橋 広	執行役員 次世代工具開発部 部長
田中 政徳	経営企画部 経営企画グループ マネージャー
福田 昌典	ブランド戦略部 ブランディンググループ マネージャー

## 研究員

氏名	所属・役職
朝比奈 謙	次世代工具開発部 製品開発グループ マネージャー
中田 祥吾	次世代工具開発部 ソリューション開発グループ マネージャー
山口 佳之	事業開発室 一般
辻 久裕	次世代工具開発部 製品開発グループ 一般
大河 祐樹	次世代工具開発部 製品開発グループ 一般
田邊 篤史	次世代工具開発部 ソリューション開発グループ 一般
平井 祐輔	次世代工具開発部 ソリューション開発グループ 一般
佐藤 拓郎	次世代工具開発部 ソリューション開発グループ 一般

## 【間接補助事業者】 ウエストユニティス株式会社

## 研究員

氏名	所属・役職
福田 登仁	代表取締役
河越 健次	カスタマーサポート
宮前 雅一	チーフ ソフトウェアアーキテクト
木下 忠俊	ソフトウェア開発
牧長 心	ソフトウェア開発

### 1-3 成果概要

新幹線および鉄道車両製造では、ボルトの締結には、締め付けトルク値規定をはじめ、厳密な作業手順とその作業記録が求められる。現状、1) 作業場所、締結部位の特定、2) 作業証跡記録、3) 作業方法の適正検証など、多くの課題が残る。本研究開発では、工具・測定機器とウェアラブルデバイスを、ソフトウェアで統合し、作業性・安全性向上、コスト削減、作業品質向上のための作業トレーサビリティシステムの構築を目指した。

#### (1) 平成27年度

- ・ システム全体設計と構成する機能要素の抽出と整理を完了させた。
- ・ スマート工具・測定機器およびウェアラブル作業支援デバイス構想、原理検証等を完了させた。
- ・ 上記を統合する基盤ソフトウェアの試作開発を完了させた。

#### (2) 平成28年度

- ・ スマート工具・測定機器の原理検証、設計を経て試作完成、工具通信・作業支援ソフトウェアとの連動開発を完了させた。
- ・ 工具・作業管理ステーションは、要素技術開発、システム構成設計、試作を完了した。
- ・ 業務管理ソフトウェアの要件設計を行い、統合された作業トレーサビリティシステムの全体像を描いた。

#### (3) 平成29年度

- ・ 工具通信・作業支援ソフトウェアとの連動開発を完了させた。
- ・ 統合された作業トレーサビリティシステムのビジネス展開像を描いた。
- ・ 工具・作業管理ステーションについては、システム試作を目指したが、開発体制資源の不足により停滞を余儀なくされた。

### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

所属：京都機械工具株式会社

経営企画部 経営企画グループ マネージャー

氏名：田中 政徳

電話：0774-46-3977

Email：ma\_tanak@kyototool.co.jp

## 第2章 本論

### 2-1 全体計画と環境整備

平成27年度においては、まず、研究要件および実現計画を策定、中期研究項目、試作開発項目、既存品評価項目の分類、方針を決定し、以下の成果を完成した。

#### i) 全体開発計画

研究開発の具体的内容と実施スケジュール、システム全体設計と構成する機能要素の抽出と整理を行い、目標とする性能水準の設定の上、課題を抽出し、開発計画として策定した。



図1 開発コンセプト

事業変革プロジェクト	65期 (2014.10~2015.3)			66期 (2015.4~2016.3)				67期 (2016.4~2017.3)				68期 (2017.4~2018.3)				69期 (2018.4~2019.3)				70期 (2019.4~2020.3)							
	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4				
<b>OYZK</b> (研究開発)				OYZK 1.0 構想立案 開発協業体制 概要設計 助成金申請				OYZK 2.0 Prj運営 要件定義 原理評価				OYZK 3.0 工具開発室発足 原理プロト 組立プロト ソフトウェア基盤				OYZK 4.0 組立プロト 量産試作 量産 ソフトウェア製品				OYZK 5.0 バージョンアップ シリーズ強化				OYZK 6.0			
<b>KTC-SC</b> (生産/調達改革)															開発購買 戦略調達 KTC-SC 1.0				KTC-SC 2.0				KTC-SC 3.0				
<b>TNZN</b> (事業/市場開発)															TNZN 1.0 体制構築				TNZN 2.0 市場展開 サービス事業化								

図2 全体計画・マクロスケジュール

## ii) システム全体設計と構成する機能要素の抽出と整理

製造現場での作業分析、業務要件の整理を行い、開発要求機能と安全性、作業性から求められる制約条件等を検討、策定し定義から以下の成果を完成した。

1. 作業環境、手順に適応した作業トレーサビリティシステム全体機能構成
2. スマート工具・測定機器機能要件定義
3. 基盤ソフトウェア開発要件定義

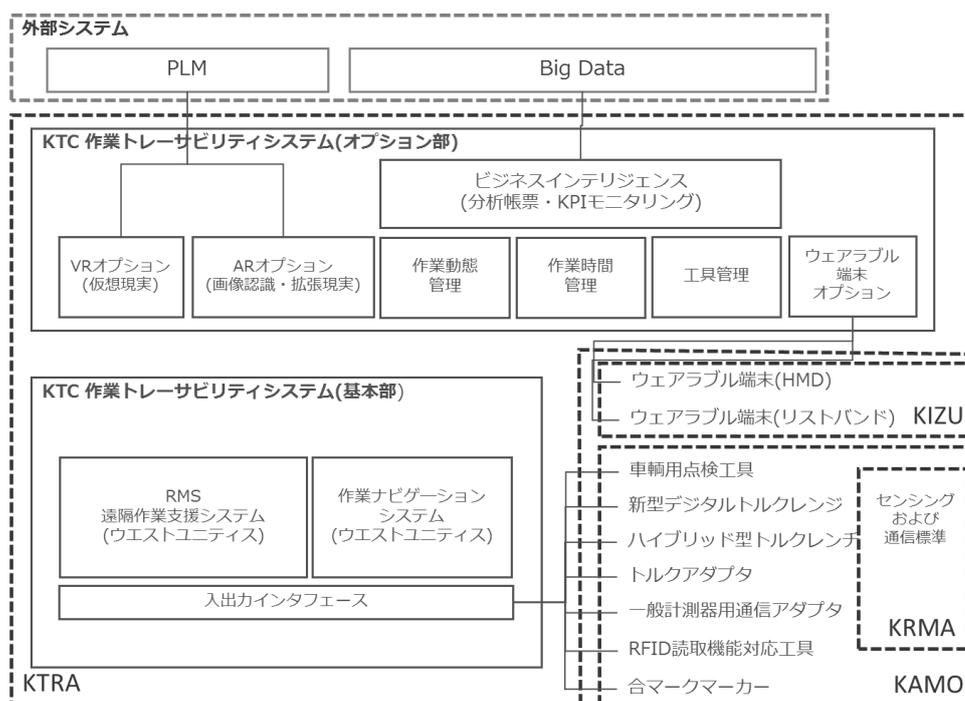


図 3 作業トレーサビリティシステム全体機能構成

## iii) 試験環境整備

計測性能評価試験機および環境試験装置群の配備に取り組み、機器設備について導入した。これにより、下記の環境試験の実施を可能とした。

- 環境試験
  - IP 近接試験、IP 防じん試験、IP 防水試験、耐薬品性試験、恒温恒湿試験
- 電磁環境試験
  - 電磁妨害試験、電磁感受性試験

・耐薬性試験用

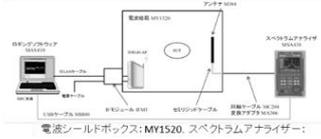


ドラフトチャンバー: ADDLA-01・02



恒温恒湿試験機: LH-144

・電磁妨害試験、電磁感受性試験



電波シールドボックス: MY1520、スペクトラムアナライザー:

・IP近接試験

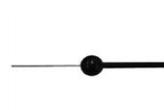
SIDE



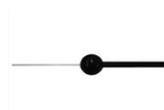
TOP



テストフィンガー: P-



接近度検査用プローブ: P-



接近度検査用プローブ: P-

・IP防水試験



・エアリークテスタ: WPC6100P02



スプレーノズル試験装置:

・振動試験機



卓上型振動試験機: CV-101

写真 1 試験機群

## 2-2 スマート工具・測定機器の研究開発

### (1) 平成 27 年度

平成 27 年度においては、研究要件および実現計画を策定、中期研究項目、試作開発項目、既存品評価項目の分類、方針を決定し、以下の成果を完成した。

#### i) 全体開発計画

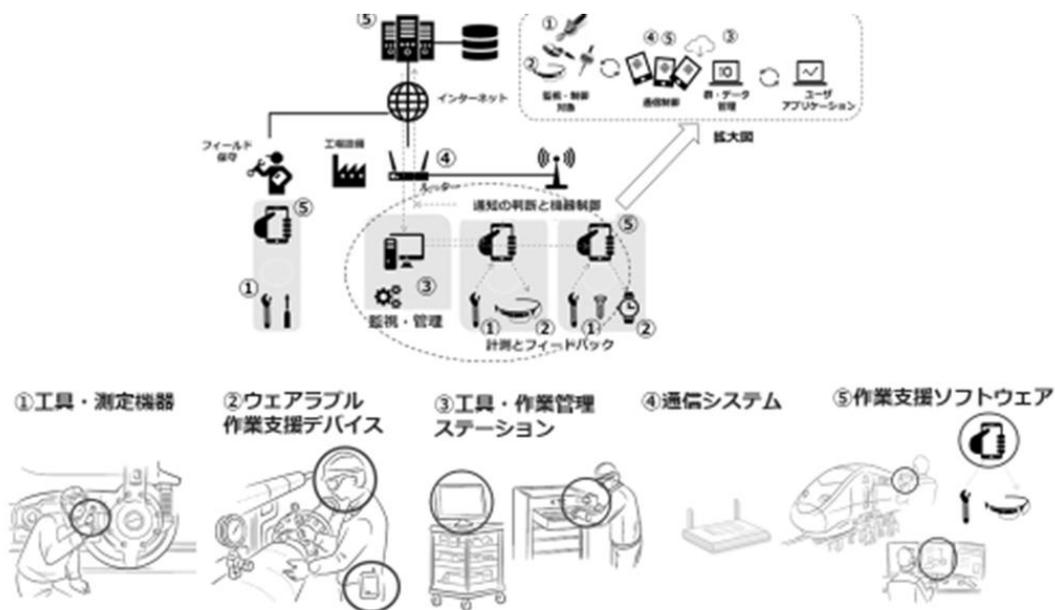


図 4 開発テーマの構成

#### ii) 初期プロトタイプ

##### ・ 機械式トルクレンチ

締結回数カウント機能として、近接センサー及びリミットスイッチでのセンシング精度を検証した。結果的に、ボルト締結回数、トルク値デジタル測定は可能であることを確認した。

##### ①ボカヨケ・作業回数カウントトルクレンチ

###### <目的>

近接センサ及びリミットスイッチにて、クリック(首折れ)動作のセンシングを行い、締結回数カウントの可否を検証する。

###### <結果>

KTC製WCMPA103(単能型)に、リミットスイッチと近接センサを取付け、クリック時(設定トルク値で“カチッ”と音が出る時)のトルクの動きから、締結回数のカウントを行えることを検証完了。



図 5 プロトタイプ #1

・ デジタルトルクレンチ

基本モジュールとして、小型化されたトルクレンチヘッドに、軸力トルク値の検知、測定を実現するセンシングデバイスにより目標値に近い性能を得ることのできる試作品を完成した。

・ トルクアダプタ

軸力トルク値の測定において、フォースセンサー、アナログ信号増幅の技術を用い、目標値に近い性能を得ることのできる試作を完成した。

③デジタルトルクアダプター

<目的>

アダプター型の筐体において、トルク値のデジタル測定の実現可否を検証する。

<結果>

アダプター型の筐体の限定された空間内で、ひずみゲージによるセンシング、トルク値のデジタル測定を行なえることを検証完了。

6.3s.q. = 30N・m (有効測定範囲10~50N・m)

9.5s.q. = 100N・m (有効測定範囲80~120N・m)

※上記の範囲で、測定トルク値精度は、±3%以内

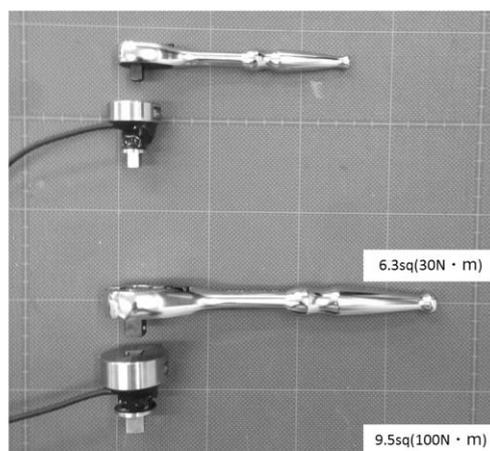


図 6 プロトタイプ#2

・ RFID 読取機能対応工具

RFID タグのボルトおよび締結部位へ組込技術と RFID リーダーのカスタマイズ、工具取付け時の読み取り最適化技術を検証する試作を完成した。

④RFID読取機能対応メモルク(近接検知型)

<目的>

RFIDタグのボルトおよび締結部位へ組込技術とRFIDリーダーのカスタマイズ、工具取付け時の読み取り最適化技術を検証する。

<結果>

工具取付け時の読み取り最適化技術を検証する試作を完成。

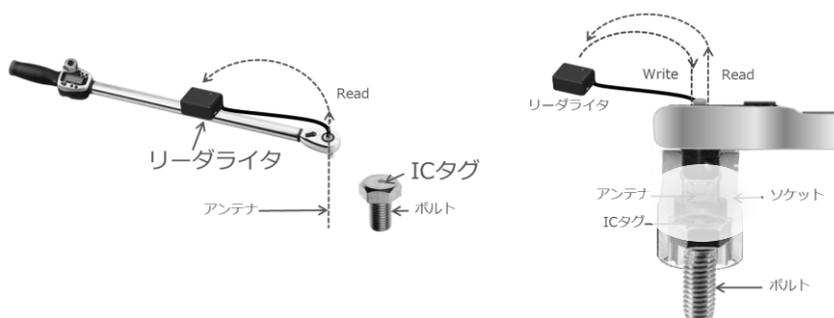


図 7 プロトタイプ#3

iii) ウェアラブル作業支援デバイス、基盤ソフトウェアとの連携評価

- ・ ウェストユニティス株式会社側での開発項目であるウェアラブル作業支援デバイス、基盤ソフトウェアの試作品との連携評価を終えた。

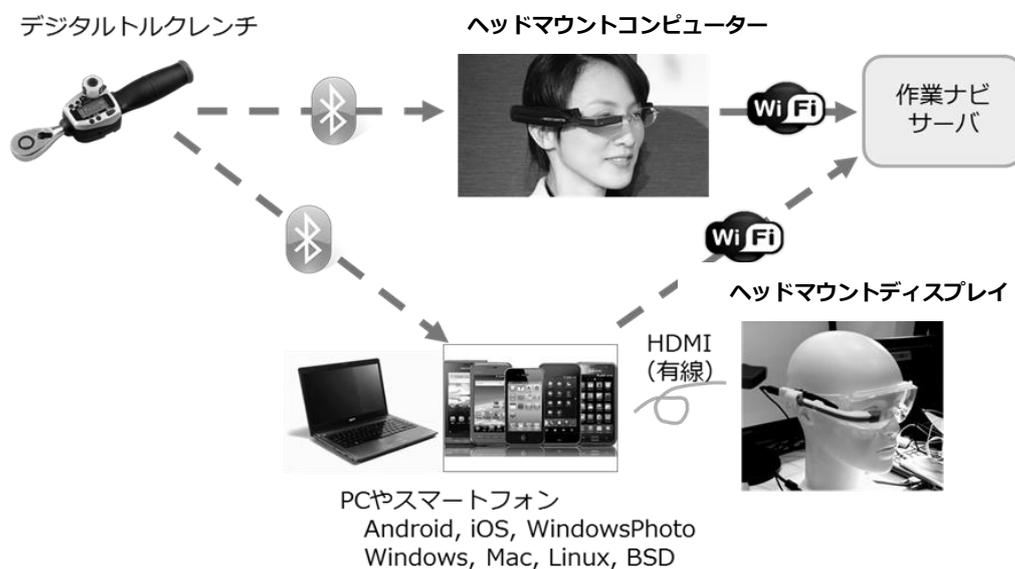


図 8 連携概念図

(2) 平成 28 年度

平成 28 年度においては、試作・作業検証を繰り返すプロトタイピング開発手法をもって、小型化、性能条件を満たす機能試作を実証し、目標とする性能へ近づけるとともに、操作性に富んだ工具・計測機器本体の形状・意匠設計を実現するために工業デザインを行い、商品化の具体的イメージを得るに至った。

- ・ 機械式トルクレンチ

3 種のセンシング機能、機構、工具への実装設計、試作開発を完成させた。

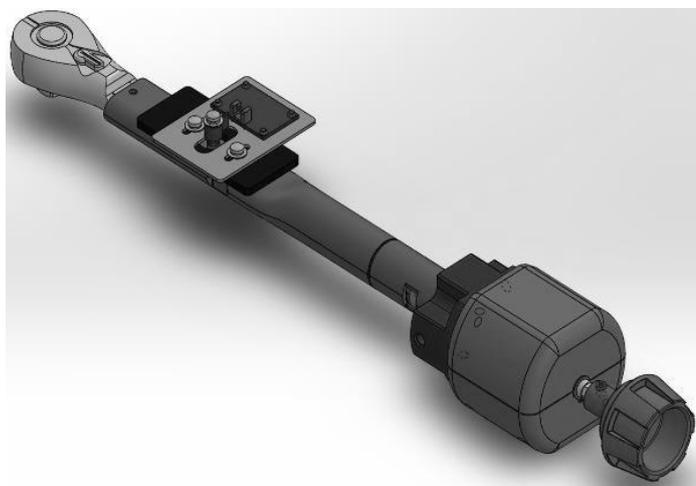


図 9 プロトタイプ #4(イメージ)

・トルクアダプタ

回転方向でのひずみセンサーの機構設計、試作開発を行い、小型筐体の実装可能な処理回路、通信回路、電源部の設計と試作開発を完成させた。



図 10 プロトタイプ#5(イメージ)

また、目標とする性能へ近づけるとともに、操作性に富んだ工具・計測機器本体の形状・意匠設計を実現するために工業デザインを行い、商品化の具体的なイメージを得るに至った。

- ・ 将来の作業性、安全性の向上を狙う機構の概要検討
- ・ 試作・作業検証
- ・ 製品ファミリー(機種・性能展開)計画
- ・ 原価積算、サプライチェーン計画

## (3) 平成 29 年度

平成 29 年度においては、2 種類のトルク荷重試験機を設計、作成した。

これを用い、試作・作業検証を繰り返すプロトタイプ開発手法をもって、機械式トルクレンチの組立試作、トルクアダプタの最終試作を完了した。

- ・ トルク試験機

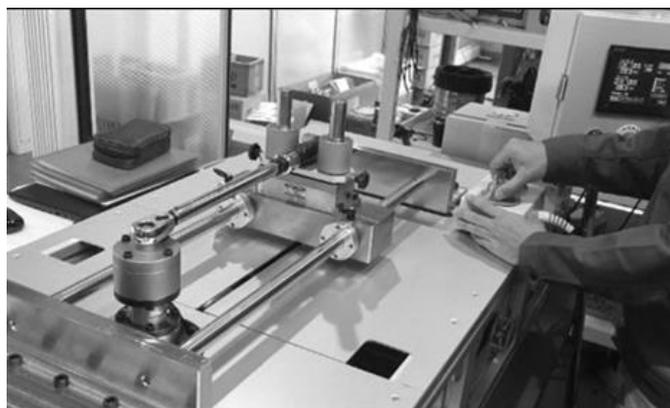


図 11 トルク試験機

- ・ 機械式トルクレンチ

センシング機能を実装した試作品でのデータ整合性と分析価値の評価に至った。

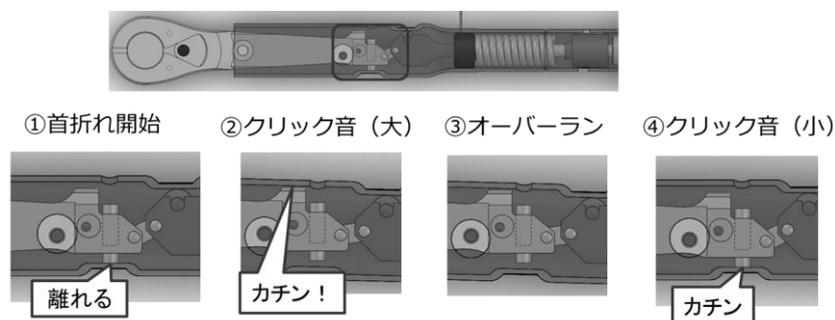


図 12 機械式トルクレンチの挙動解析

- ・ トルクアダプタ

非常に小型かつ高精度な新しい機構を持つトルク測定工具の最終試作を完了した。

高精度測定、高記録性(追跡可能性)、既存の工具との連携性により、作業の安全性、能率を高めることに寄与することは確認できた。

また、スマートフォン、タブレットなどとの BLE 通信接続を実現し、アプリケーションソフトウェアによりデータ記録の確実性を実現するとともに、身体に装着可能な補助的報知デバイスを用い、より安全性、生産性の高い作業を可能とした。



図 13 新型トルクアダプタ(イメージ)

記録されたデータからは、結果としての作業実績に留まらず、作業における技能習熟度レベル、異常の検知などの分析に資するデータであることが実証された。

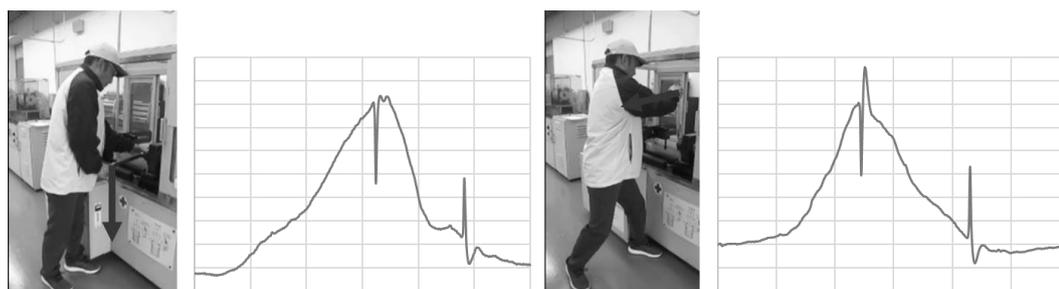


図 14 データ解析(イメージ)

## 2-3 ウェアラブル作業支援デバイスの研究開発

### (1) 平成 27 年度

平成 27 年度においては、すでに先行して販売されている他社製のウェアラブルデバイスから選定し、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)、指輪型操作デバイス、腕時計型デバイスについて、実際に機器を使用して、使用感や運用方法について調査検討を行った。

その結果、本件作業トレーサビリティシステムにおいては、HMDが最適であると判断し、プロトタイプ開発を行った。

スマートフォン、タブレット PC 等表示機能を有した多様な端末に対して、HDMI インターフェース(High-Definition Multimedia Interface/高精細度マルチメディアインターフェース)にて接続可能なHMDのプロトタイプモデルを開発・完成させた。機構拡張や実際現場での有用性について、改良課題解決が必要であるが、初版プロトタイプを完成させたことで使用感についてフィードバックを得る準備が出来きた。

ヘッドマウントディスプレイ	
利点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・HDMIで接続対象不問 HDMIケーブル経由で映像を映し出す表示装置であり、HDMI出力が可能な電子機器であれば、OSを問わず使用が可能</li> <li>・アプリ資産再利用性 現在使用しているアプリがそのまま利用可能</li> </ul>
欠点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ケーブル コンピュータ機器とはケーブル接続</li> <li>・単体使用不可 他の機器の画面を映し出すディスプレイであり、単体では使用できない</li> </ul>

図 15 ヘッドマウントディスプレイ#1

### (2) 平成 28 年度

平成 28 年度においては、前年度完成させたプロトタイプモデルをベースとし、社内及び実際の現場でのテスト利用を行い、課題点や改善点を洗い出し、製品版としての要求仕様の確定作業を実施した。また、要求仕様に基づき、必要部品を自社設計し、プロトタイプモデルを発展させたテスト機モデルの開発を実施した。

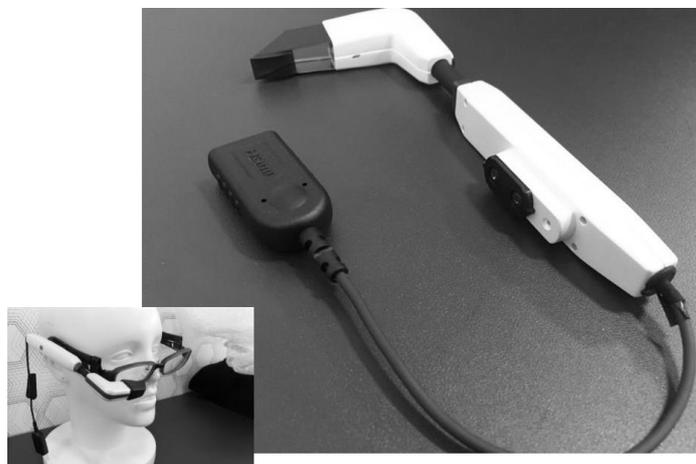


図 16 ヘッドマウントディスプレイ#2

テスト機開発にあたり、HMD の最も重要な光学部分の改善が必要となった。既製品では要求を満たす品質の部品が存在しないため、光学プリズムを自社設計する形で開発を進めた。自社光学プリズムを搭載させたテスト機の製造を完了させたが、コストを圧迫しターゲットプライスを大きく上回るため、再検討を実施することとなった。そのため、平成 28 年度内での目標であった製品版の完成時期が、平成 29 年後半にスケジュール遅延が生じたが、試作完了に至った。

## 2-4 工具・作業管理ステーションの研究開発

平成 28 年度においては、要件定義を行い、要素技術検証として RFID および画像認識による自動認識技術を用いた機能試作開発に着手した。

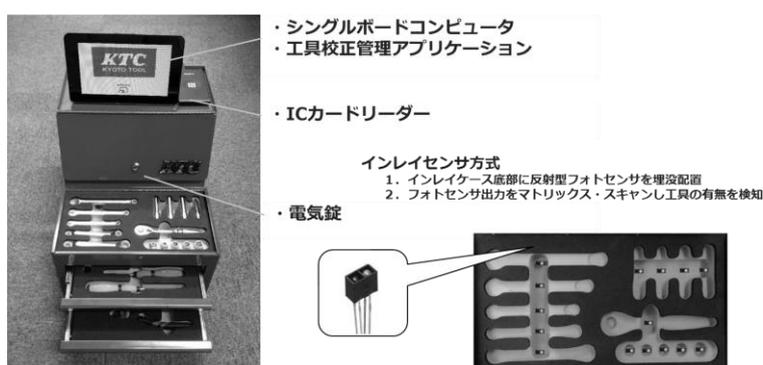


図 17 プロトタイプ#6

## 2-5 通信システム装置の研究開発

無線通信のアクセスポイント装置として、PC、スマートフォンの標準的な通信能力を補完し、また、同時多数の通信セッションを処理し、双方向にデータ中継を行う機能を備える装置の開発を計画していたが、第三者市販製品に類似する機能を検索し、購入、評価をすることにより開発試作の目的を達成した。

- ① IoTプラットフォーム“SORACOM”  
 ・ データ通信専用SIMによるモバイル通信(Docomo 3G,LTE)と管理クラウドを一貫提供



- ② 通信ゲートウェイ

各種センサ	各種IPで接続	選べるアドオンモジュール
<ul style="list-style-type: none"> <li>ガス検知 (F4-ガス検知機)</li> <li>温度検知 (温度センサー)</li> <li>湿度検知 (湿度センサー)</li> <li>圧力検知 (圧力センサー)</li> <li>加速度検知 (加速度センサー)</li> <li>位置検知 (GPS)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>RS232C/422/485</li> <li>Wi-SUN</li> <li>EnOcean</li> <li>920MHz帯無線通信</li> <li>CAN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Armadillo-IoT ゲートウェイ アドオンモジュール</li> <li>オーディオ/ビデオ/カメラ アドオンモジュール</li> <li>ユーザー独自のアドオンモジュール</li> </ul>

Armadillo-IoTゲートウェイ:

- 無線機器インターフェース
- RS232C/485や接点信号など機器用インターフェース  
 ※インターフェース部分を取り換えられるアドオンモジュール構造
- 3Gモジュール搭載でSORACOMによる広域通信可能

図 18 市販されている通信システム装置の例

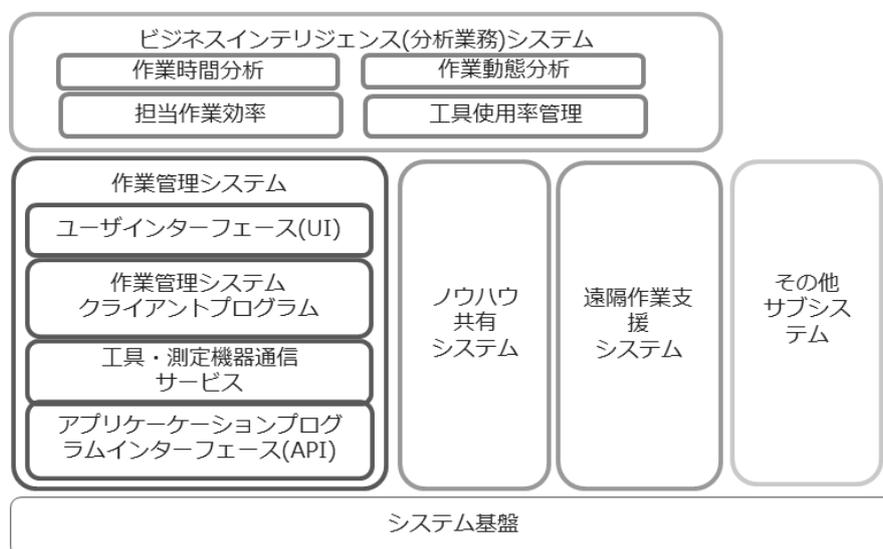
## 2-6 工具通信・作業支援ソフトウェアの研究開発

## (1) 平成 27 年度

平成 27 年度においては、自社開発済の作業指図を表示するソフトウェアを元に、本件、工具通信・作業支援ソフトウェアのプロトタイプモデル開発を行った。プロトタイプモデル開発にあたり、川下製造業者のニーズを実現するための技術調査を行い、ソフトウェアへの実装を行った。

工具通信・作業支援ソフトウェアについて、拡張機能、運用基盤技術を含む、全体構想を完了し、本年度予定をしていた作業を完了させた。

プロトタイプとして、既存のソフトウェアに対して工具・測定器から得られた計測値を取得する仕組みを構築した。この際、ソフトウェアに対して直接仕組みを組み込むのではなく、OSのサービスとして構築することで、ソフトウェアの仕組みが変更された際も、工具・測定器との接続ロジックは変更を行う必要がなくなった。



- ・ ASP化(シングルインスタンス・マルチテナントモデル)
- ・ 高可用性構成
- ・ 耐障害性構成
- ・ 非構造化データ管理(図面、画像、動画など)
- ・ 従量課金システムの構築
- ・ ビッグデータ分析環境(AWS)構築

図 19 運用基盤技術

## (2) 平成 28 年度

平成 28 年度においては、前年度開発のプロトタイプモデルを元に、さらに機能をブラッシュアップさせるための必要機能について、要件要件の洗い出しを実施した。また、要件としてあがった機能を各サブシステムとして実装するための要件定義、技術調査やプロトタイプ開発を実施した。

実サービス開始の準備として、システムをクラウド基盤環境で動作させるため、基盤環境の調査検討や、動作テストを実施した。

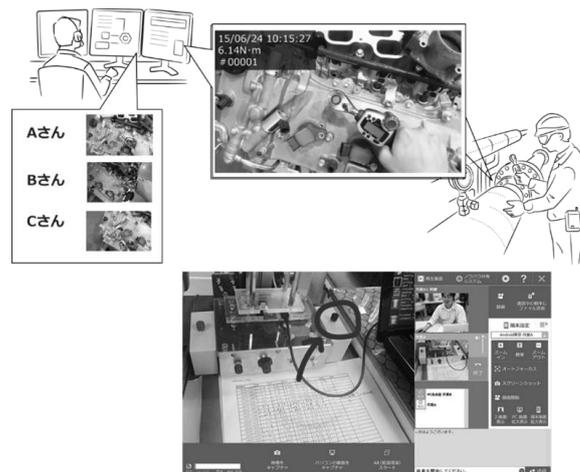


図 20 ソフトウェアプロトタイプ#1

年度目標であった、システム動作基盤のクラウド化については、技術調査及び実使用テストまで実施することができ、目標を達成できた。しかし、他の追加機能の開発は要件定義に時間を要し、一部プロトタイプは完成したものの、開発には着手できなかった。

## 第3章 全体総括

### 3-1 研究開発成果

本研究を通じての成果として、スマート工具・測定機器開発に関しては、トルクアダプタ製品化の具体的実施計画、進化型機械式トルクレンチの製品化への課題を含む原理試作、同時に、デジタルトルクレンチ製品の精度評価試験(校正)に必要なトルク試験機の開発、稼働を達成した。

さらに、スマート工具・測定機器と対向接続するソフトウェアアプリケーションの試作、ウエストユニティス株式会社開発の統合作業支援ソフトウェアとの接続を達成した。

#### ① スマート工具・測定機器の開発

新型トルクアダプタは、小型化、省電力、測定精度向上、操作性向上を狙い第三次試作(最終試作)を完了した。

進化型機械式トルクレンチは、センシング各要素の原理検証試作製品として目標性能への課題を洗い出すことに注力をし、製品化への課題を含む原理試作をもって、製品化課題の定義、第二次試作(組立試作)を完了した。

#### ② トルク試験機の開発

デジタルトルクレンチ製品の精度評価試験(校正)に必要なトルク試験機の開発、稼働を達成した。

#### ③ 機種展開計画

共通要素、標準化要素の知見を得たことにより、スマート工具・測定機器製品群全体の機種展開計画を策定することを達成した。

#### ④ 作業支援デバイス製品の開発

スマート工具・測定機器の開発の進展に伴い、作業支援デバイスへの要求が具体化され、作業支援デバイス製品群全体の機種展開構想を策定することを達成した。

#### ⑤ 全体システム像とサービスを含む事業計画

スマート工具・測定機器、作業支援デバイス、基盤ソフトウェアの具体化、実現性進化により、全体システム像とサービスを含む事業性の仮説、製品開発の目標設定に至った。

## 3-2 研究開発後の課題・事業化展開

## (1) 事業展開及び市場概況

事業展開及び事業化のための戦略は、1) 当社既存商品のすでに確立されている販路・ネットワークを最大限に活用した営業活動、2) 展示会への積極的な出展による当システムの認知獲得、となる。具体的には既存顧客とし、同社の国内全製造ラインおよび海外製造拠点への導入を目指す。

国内外での展示会出展と並行して、既に販路・ネットワークを有し、ニーズが顕在化している鉄道、航空機、建機、機械などの個別受注生産品の製造拠点への展開を目指す。さらに、フィールド保守・整備の業務へのシステムの最適化を図ることにより、保守・整備拠点への導入を進める。システム全体の可用性、保守性を十分に高め、測定工具のレパートリーを増やし、大規模市場であり、当社が多くの販路、ネットワークを有する自動車整備、車検工場への普及を図る。

## 1) 製造拠点

	鉄道	航空機	機械	その他
市場規模	大	大	大	大
ターゲット総数 (会社数・拠点数など)	73	86	93	162
調査根拠	製造メーカー:41社 運行会社:32社 日本鉄道車輛工業会	日本航空宇宙工業会	日本工作機械工業会	日本プラントメンテ ナンス協会
目標シェア	25%	20%	10%	10%
導入サイト数	18	17	9	16

## 2) 保守・整備拠点

	機械	保線	車検	建機	プラント	ビル・昇降機
市場規模	大	小	大	中	大	中
ターゲット総数 (会社数・拠点数など)	170	32	92,000	67	383	99
調査根拠	日本産業機械工業会	運行会社:32社 日本鉄道車輛工業会	自動車整備 認証工場 指定工場	日本建設機械工業会	日本プラントメンテ ナンス協会	日本エレベーター協 会
目標シェア	10%	25%	5%	5%	5%	5%
導入サイト数	17	8	4,600	3	19	5

表1 ターゲット市場

(2) 事業化に至るまでのスケジュール

事業年度	平成 30 年度 (2018 年)	平成 31 年度 (2019 年)	平成 32 年度 (2020 年)	平成 33 年度 (2021 年)	平成 34 年度 (2022 年)	
スケジュール	評価用プロトタイプの出荷	→				
	システム実証実験	→	→			
	・フィールド評価	→	→			
	・追加開発/商品化のための要件定義	→	→			
	製品化開発	→	→			
	・ソフトウェア改修 (バージョンアップ)	→	→	→	→	
	・ソフトウェア海外対応	→	→			
	・工具・機器等量産試作	→	→			
	サポート体制整備		→	→		
	工具・機器等量産		→	→		
	製品販売(直販)		→	→	→	
	販売チャンネル開発		→	→		
	特許出願	(平成 28~29 年度予定)				
	出願公開	→				
	特許権設定				→	
売上見込	売上高 (千円)	30,000	500,000	1,200,000	2,000,000	2,000,000
	販売数量 (単位: 導入拠点・社数)	5 サイト 4 社	20 サイト 10 社	60 サイト 20 社	100 サイト 10 社 (再販会社含む)	100 サイト 10 社 (再販会社含む)
	売上高の根拠	・スタート構成販売開始 ・③④⑤プロト評価  ・日立製作所(国内/海外製造) ・航空機、建機、機械(製造)	・スタンダード/プロ構成販売開始 ・海外販売開始 ・③プロト評価  ・鉄道・航空機(保守整備)	・スタート/スタンダード構成の付加価値再販による展開 ・システム保守料  ・機械、建機 ・プラント、ビルメンテ、保守サービス会社(システム再販社経由)	・自動車整備工場等への普及版展開  ・機械工具商社 ・システムインテグレータ	

表 2 事業化計画